

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky**  
**a informatiky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2008/2009**

**Petr Přehnal**

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**

**Fakulta elektrotechniky**

**a informatiky**

**Katedra elektroenergetiky**

**Termovizní diagnostika nn rozvodů**

**Infrared Diagnostics of the Low-Voltage  
Distribution System**

**2008/2009**

**Petr Přehnal**

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Petr Přehnal**

Studijní program:

B2645 Elektrotechnika, sdělovací a výpočetní technika

Studijní obor:

3907R001 Elektroenergetika

Téma:

Termovizní diagnostika nn rozvodů  
Infrared Diagnostics of the Low-Voltage Distribution System

Zásady pro vypracování:

1. Bezpečnost práce při termovizní diagnostice nn rozvodů
  2. Přepočet oteplení pro jmenovité zatížení proudovodné dráhy
  3. Praktické měření a vyhodnocení nn rozvodů
- 
1. Safety at work on infrared diagnostics of the low-voltage distribution system
  2. Warming recalculation of the current conductor on nominal load
  3. Practical measurement and evaluation of low-voltage distribution system

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Technická dokumentace k termovizním kamerám.
2. Havelka, O.: Elektrické přístroje, SNTL, Praha, 1985.
3. Další podle doporučení vedoucího BP.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tadeusz Sikora, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2008

Datum odevzdání: 07.05.2009

prof. Ing. Zdeněk Hradílek, DrSc.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Vondrák, CSc.  
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne:

.....

Petr Přehnal

## Poděkování

Chci poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Tadeuszovi Sikorovi, Ph.D. a Jiřímu Máhrovi za rady a připomínky, které mi pomohly k vytvoření této práce.



## **Abstrakt:**

Moje bakalářská práce je zaměřena na termovizní diagnostiku nn rozvodů. Termodiagnostika se zabývá bezkontaktním měřením teploty zařízení. Teplotní změny mohou ukazovat na problémy v mnoha různých oblastech a termokamera dovoluje rychle a jednoduše zkontrolovat povrchové teploty, a tím předejít různým problémům. V dnešní době je tato metoda dobrou aplikací, jak zajistit bezporuchový stav elektrického zařízení. Ve své práci popisuji aplikace měření a přepočet oteplení pro jmenovité zatížení proudovodné dráhy. V jedné z kapitol popisuji bezpečnost práce při termovizní diagnostice. Hlavním úkolem bylo termovizní měření na nn zařízení v areálu Mora Aerospace, a. s., v Hlubočkách.

## **Abstract:**

My bachelor's work is aimed at the thermodiagnosics nn distributions. The thermodiagnosics deals with the non-contact measuring machinery temperature. The changes of the temperature may indicate problems in many different areas and the thermocamera makes it possible to check the surface temperatures quickly and easily and thus we prevent various problems. This method is a good way how to get a failure-free state of the electrical installation nowadays. In my work I describe measurement application and warming check calculation for current-carrying capacity. I describe the security of work during the thermodiagnosics in one of the chapters too. The main aim of my work was the thermomentering of nn machineries in the area of Mora Aerospace, a. s., Hlubočky.

## **Klíčová slova:**

Termodiagnostika, teplota, emisivita, bezpečnost, infračervené záření, distribuční síť

## **Keywords:**

Thermodiagnosics, temperature, emisivity, safety, infrared radiation, distribution network

## Seznam použitých symbolů a značek

<i>Symbol</i>	<i>název</i>	<i>jednotka</i>
R	Odpor vodiče	( $\Omega$ )
I	Elektrický proud	(A)
$\alpha_0$	Součinitel přestupu tepla	(W/m <sup>2</sup> ·K)
c	Objemová tepelná kapacita	(J/m <sup>3</sup> · K)
$\Delta \vartheta$	Okamžité oteplení	(K)
A	Plocha vodiče	(m <sup>2</sup> )
V	Objem	(m <sup>3</sup> )
$\tau$	Časová konstanta	(s)



## Obsah

1	Úvod.....	9
2	Aplikace.....	10
2.1	Vnitřní elektrické rozvodné systémy.....	10
2.2	Venkovní elektrické systémy – rozvodny.....	10
2.3	Motory, čerpadla a mechanická zařízení .....	11
3	Bezpečnost práce při termovizní diagnostice nn rozvodů .....	12
3.1	Bezpečnost práce při termovizní diagnostice .....	12
3.2	Rozsah platností.....	12
3.2.1	Definice .....	12
	elektrické zařízení .....	12
	obsluha a práce.....	12
	elektrické riziko .....	12
	osoba znalá (v elektrotechnice).....	13
	práce na elektrickém zařízení .....	13
	práce v blízkosti živých částí .....	13
3.3	Základní principy při práci .....	13
3.3.1	Bezpečná obsluha a práce.....	13
3.3.2	Osoby .....	13
3.3.3	Pracoviště .....	14
3.3.4	Nářadí, výstroj a přístroje.....	14
3.3.5	Dokumentace a záznamy.....	14
3.3.6	Značení.....	15
3.3.7	Běžné pracovní postupy .....	15
3.3.8	Měření .....	15
3.3.9	Zkoušení .....	15
4	Přepočet oteplení pro jmenovité zatížení proudové dráhy.....	16
	Oteplování proudového vodiče.....	16
5	Měření v rozvodu elektrické energie.....	19
5.1	Atmosférické podmínky při měření a vzdálenost měření a vzdálenost měřeného prvku od termovizní kamery .....	19
5.2	Emisivita povrchu měřeného prvku .....	19
5.3	Zatížení v době měření .....	20
5.4	Vliv větru na naměřený údaj.....	20
5.5	Měření na elektrických přístrojích .....	20
6	Termokamera Fluke Ti25 .....	21
6.1	IR-Fusion - různé režimy zobrazení při měření elektrického čerpadla .....	22
6.1.1	Plně IR (tradiční) snímek .....	22
6.1.2	Plně optický(viditelné světlo) snímek .....	22
6.1.3	Automatické prolínání.....	22
6.1.4	Obraz v obraze.....	23
6.1.5	IR/Barevná signalizace.....	23
7	Závěr .....	25
	Literatura a jiné zdroje.....	26
	Přílohy.....	27

## 1 Úvod

Infračervené záření bylo objeveno v roce 1666 Sirem Isaacem Newtonem, když oddělil elektromagnetickou energii slunce průchodem bílého světla skleněným hranolem, který rozdělil paprsek na paprsky duhových barev.

Další objev v infračerveném záření provedl v roce 1800 britský astronom Sir William Herschel. Optickým hranolem rozložil sluneční světlo na jednotlivé barvy. Do rozloženého barevného spektra vložil sadu rtuťových teploměrů. Měřená teplota v místě jednotlivých barev byla vyšší směrem k červené straně spektra. Herschela napadlo posunout teploměr ještě dále, tedy za červený okraj viditelného spektra. Ke svému překvapení zjistil, že zde teplota dosahuje nejvyšších hodnot. To dokazovalo, že zde musí existovat jakési neviditelné záření, které přenáší teplo. A protože se toto záření nachází za viditelným červeným pásem, bylo později nazváno infračerveným.

Asi z roku 1859 pochází Kirchhoffův objev rovnováhy mezi pohlceným a vysílaným zářením u absolutně černého tělesa. Kirchhoff zjistil, že intenzita vyzařování je určena jen teplotou tělesa. Na tuto myšlenku navázal W. Wien objevem zákona, který byl ale experimentálně ověřen jen pro vysoké teploty a malé vlnové délky. Tuto nepřesnost doplnil J. W. Rayleigh svým zákonem, který zase neplatil pro vysoké teploty a malé vlnové délky. Tuto rozpolcenost sjednotil roku 1905 Max Planck objevem obecného zákona záření absolutně černého tělesa, přičemž platnost obou předchozích zákonů zůstala nezměněna.

K vývoji infračervených systémů pomohla i světová válka, kde byly vyvíjeny systémy na detekci osob, letadel, či navádění torpéd. Tyto systémy nebyly moc přesné a jejich účinnost byla dosti malá. Postupem času byly vyvíjeny teplotní zobrazovací zařízení, ale byla to složitá a nákladná technologie, které se věnovali výhradně odborníci specializující se na termografii. Naštěstí však, díky aktuálnímu technologickému vývoji a výrobním postupům, se náklady na termografii snížily a termokamery se tedy dají snadněji využít jako nástroj pro každodenní kontrolu a vyhledávání problémů v náročných pracovních podmínkách.

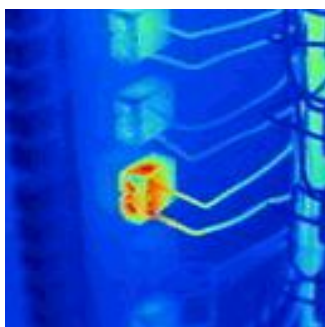
Jednou z důležitých diagnostických veličin, která určuje stav zařízení, je teplota, respektive oteplení. Například u elektrického zařízení indikuje zvýšená teplota buď nepřiměřené zatížení, zvýšení přechodového odporu, opotřebení, případně deformaci některých funkčních částí, a to jak u točivých, tak i netočivých elektrických strojů, elektrického zařízení rozvodů a elektráren. Při vypracování této bakalářské práce jsem čerpal z literatury, kterou jsem uvedl na konci bakalářské práce.

## 2 Aplikace

Teplotní změny mohou ukazovat na problémy v mnoha běžných oblastech, kterými jsou například:

### 2.1 Vnitřní elektrické rozvodné systémy

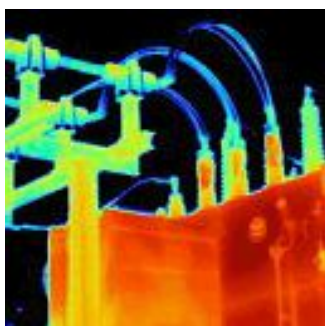
Ve vnitřních elektrických systémech můžeme měřit například: rozvaděče, elektrické panely, ovladače, transformátory, zásuvky, osvětlení, vodiče, přípojnicové rozvody, centra řízení motorů atd. Na obr. 1 vidíme příklad měření v elektrickém rozvaděči, kde je vidět zahřívání jističího prvku. Zahřátí může být způsobeno buď opotřebením vnitřních částí jističe anebo nesouměrným zatížením jednotlivých fází, které bychom zjistili změřením každé fáze klešťovým ampérmetrem.



Obr. 1. nesouměrné proudové zatížení jističích prvků

### 2.2 Venkovní elektrické systémy – rozvodny

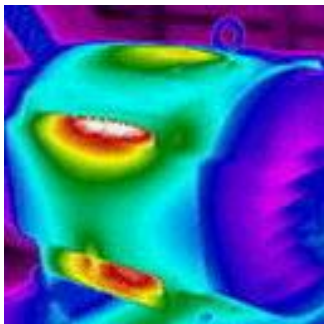
Další z aplikací měření termovizní kamerou jsou venkovní elektrické systémy: transformátory, průchodky, izolátory, přenosová vedení, rozpojovače, kondenzátorové baterie atd. Na obr. 2 je termovizní snímek zatíženého transformátoru. Červená a oranžová místa nám ukazují, kde je transformátor nejvíce zatěžován.



Obr. 2. zatížený transformátor

### 2.3 Motory, čerpadla a mechanická zařízení

Měření teplot na mechanických zařízeních jako jsou: elektromotory, generátory, čerpadla, kompresory, výparníky, ložiska, spojky, převodovky, těsnění, řemeny, kladky nám můžou ukázat různé problémy, jako třeba mechanické opotřebení částí strojů, nebo nadměrné zatížení, jaké vidíme na obr. 3. Vinutí motorů je zahříváno nadměrným zatížením.



Obr. 3. Abnormálně nerovnoměrné zahřívání motoru

[Technická dokumentace termovizní kamery Fluke Ti25]

## **Bezpečnost práce při termovizní diagnostice nn rozvodů**

### **2.4 Bezpečnost práce při termovizní diagnostice**

Bezpečnost práce řeší norma ČSN EN 50110-1. Při práci s termovizní kamerou v blízkosti elektrického zařízení a na něm, měli bychom se řídit těmito bezpečnostními pracovními postupy a používat ochranné pracovní pomůcky, které jsou uvedeny v kapitolách 3.3.

### **2.5 Rozsah platností**

Tato norma platí pro obsluhu a práci na elektrických zařízeních, s elektrickými zařízeními nebo v jejich blízkosti. Jedná se o elektrická zařízení provozovaná s úrovní napětí od malého včetně až po vysoké napětí.

Elektrická zařízení jsou určena pro výrobu, přenos, přeměnu, rozvod a užití elektrické energie. Některá z těchto elektrických zařízení jsou stálá a pevná, například rozvodná zařízení v průmyslových nebo v administrativních komplexech, některá dočasná, například na stanovištích, jiná jsou mobilní nebo schopná převozu, buď jsou pod napětím nebo bez napětí a bez náboje. Příkladem jsou elektricky poháněná rypadla používaná v povrchových lomech nebo povrchových uhelných dolech.

Tato norma stanovuje požadavky na bezpečnou obsluhu elektrických zařízení a práci na nich anebo v jejich blízkosti. Tyto požadavky se týkají obsluhy, práce a údržby. Platí pro veškerou neelektrickou pracovní činnost, například stavební práce v blízkosti venkovního vedení nebo zemních kabelů, stejně jako pro pracovní činnost na elektrických zařízeních tam, kde existuje elektrické riziko.

Tato norma neplatí pro laiky, používající instalace a zařízení za předpokladu, že tyto instalace a zařízení odpovídají příslušným normám a jsou k používání laiky navrženy a instalovány.

#### **2.5.1 Definice**

Pro účely této normy platí níže uvedené termíny a definice.

##### **elektrické zařízení**

zahrnuje všechna elektrická zařízení, která jsou určena pro výrobu, přenos, přeměnu, rozvod a užití elektrické energie: zahrnuje zdroj energie, jako jsou baterie, kondenzátory a všechny další zdroje akumulované elektrické energie

##### **obsluha a práce**

zahrnuje všechny pracovní činnosti nutné k uvedení elektrického zařízení do chodu, zahrnuje takové úkony, jako je spínání, ovládání, monitorování, údržba, a také práce na elektrických zařízeních a neelektrické práce.

##### **elektrické riziko**

zdroj možného zranění nebo poškození zdraví působením elektrické energie z elektrického zařízení

**osoba znalá (v elektrotechnice)**

osoba s odpovídajícím vzděláním, znalostmi a zkušenostmi, umožňující ji vyvarovat se nebezpečí a vyhodnotit rizika, která může elektřina vytvořit

**práce na elektrickém zařízení**

práce na elektrickém zařízení nebo v jeho blízkosti, například zkoušení a měření, oprava, výměna, údržba, úprava, rozšíření, montáž a revize

**práce v blízkosti živých částí**

veškeré pracovní činnosti, při nichž osoba zasahuje částmi svého těla, nářadím nebo jinými předměty do zóny přiblížení, aniž by zasahovala do ochranného prostoru

**práce pod napětím**

veškerá práce, při které se osoba vědomě dostává do styku s živými částmi nebo zasahuje do ochranného prostoru buď částmi svého těla, nářadím, vybavením nebo předměty

## **2.6 Základní principy při práci**

### **2.6.1 Bezpečná obsluha a práce**

Před zahájením jakékoliv práce na elektrickém zařízení nebo jeho obsluhy, musí být provedeno hodnocení elektrického rizika. Podle něj musí být stanoveno, jakým způsobem musí být práce nebo obsluha vykonávána a jaká opatření musejí být pro zajištění bezpečnosti provedena.

### **2.6.2 Osoby**

Odpovědnost za bezpečnost osob zapojených do pracovní činnosti a těch, které jsou nebo mohou být dotčeny touto činností, musí být v souladu s národní legislativou.

Veškeré osoby vykonávající práci na elektrickém zařízení, s ním nebo v jeho blízkosti, musejí být školeny z bezpečnostních předpisů a místních pracovních předpisů týkající se jejich práce. Pokud je tato práce dlouhodobá nebo složitá, musí být školení opakovaná. Musí být vyžadováno, aby osoby postupovaly ve smyslu těchto předpisů a pokynů.

Osoby musejí nosit oděv vhodný pro místo a podmínky, kde pracují. To zahrnuje používání příslušného oděvu a používání doplňků OOP (osobní ochranné prostředky).

Před zahájením pracovní činnosti a během ní musí vedoucí práce dbát na dodržení všech pokynů a bezpečnostních opatření.

Vedoucí práce musí poučit všechny osoby zapojené do pracovní činnosti o nebezpečí, které jim není okamžitě zřejmé.

Pracovní činnosti, při kterých je k zamezení elektrického nebezpečí nebo zranění třeba technických znalostí nebo zkušeností, nesmí provádět nikdo jiný než ty osoby, které takové znalosti a zkušenosti mají, nebo pod dozorem, který je pro provedení práce nezbytný.

Národní legislativa může stanovit minimální věk a kritéria pro kvalifikaci osob.

Pokud nejsou národní legislativou stanoveny požadavky na kvalifikaci osob, musí být dodržena následující kritéria pro vyhodnocení kvalifikace:

- elektrotechnické vzdělání

- zkušenosti s prací na elektrických zařízeních
- znalost zařízení, na kterém se má pracovat a praktické zkušenosti s takovou prací
- schopnost posouzení situace, zda je možné bezpečně pokračovat v práci
- znalost o náhodných poruchách, které se mohou vyskytnout v průběhu práce

Před zahájením pracovní činnosti musí být proveden rozbor její složitosti, aby pro její vykonání byla zvolena vhodná osoba, znalá, poučená nebo seznámená.

### **2.6.3 Pracoviště**

Pracoviště musí být jednoznačně určeno a označeno. U všech částí elektrického zařízení, na němž, s nímž nebo v jehož blízkosti je prováděna pracovní činnost, musí být zajištěn přiměřený pracovní prostor, způsob přístupu a osvětlení. Tam, kde je to nutné, musí být bezpečný přístup k pracovišti zřetelně označen.

Musí být přijata vhodná opatření k zabránění zranění osob v důsledku jiných rizik, která se na pracovišti mohou vyskytnout, jako jsou například mechanické nebo tlakové systémy nebo pády.

Předměty zabraňující v přístupu anebo hořlavé materiály, která se na pracovištích vyskytují, nesmí být umístěny u vchodu, na přístupových cestách, u elektrických spínacích přístrojů a ovládacích částí, v prostoru obsluhy zařízení. Hořlavé materiály, které jsou v blízkosti elektrického zařízení, musí být umístěny tak, aby nemohlo dojít k jejich vznícení.

### **2.6.4 Nářadí, výstroj a přístroje**

Nářadí, výstroj a přístroje musí vyhovovat požadavkům příslušných evropských, národních nebo mezinárodních norem, pokud existují.

Příklady nářadí, výstroje a přístroje jsou:

- izolační boty, galoše a rukavice
- ochrana očí nebo obličeje
- ochrany hlavy
- vhodný ochranný oděv
- izolační koberce, plošiny stojany
- izolované a izolační nářadí
- ovládací tyče a táhla
- zámky, označení značky:
- systémy indikace a detekce napětí
- přepážky, praporky, výstražné tabulky, apod.

Nářadí, výstroj a přístroje musí být používány v souladu s instrukcemi anebo s návodem poskytnutý výrobcem nebo dodavatelem. Tyto instrukce anebo návod musí být v jazyku nebo jazycích země, kde se používají.

Veškeré nářadí, výstroj a přístroje používané pro bezpečnou obsluhu nebo práci na elektrickém zařízení, nebo v jeho blízkosti, musí být pro takové použití vhodné, udržované ve stavu vhodném pro toto použití a správně používané.

### **2.6.5 Dokumentace a záznamy**

Ke každému elektrickému zařízení musí být k dispozici dokumentace podle skutečného provedení a záznamy o tomto elektrickém zařízení.

### **2.6.6 Značení**

Pokud je to nezbytné, musí být v průběhu každé práce nebo obsluhy upozorněno na možná rizika. Způsob značení musí odpovídat příslušným normám.

### **2.6.7 Běžné pracovní postupy**

V případě kontroly funkčního stavu zařízení musí být používáno přiměřené a vhodné nářadí a výstroj, zabráňující ohrožení osob elektrickým nebezpečím.

Před zahájením práce musí být stanoven pracovní postup. Podle základních principů, musí buď osoba odpovědná za elektrické zařízení nebo vedoucí práce zajistit, aby osoby vykonávající práci byly seznámeny s průběhem práce před jejím zahájením a s jejím ukončením. Před zahájením práce musí vedoucí práce informovat osobu odpovědnou za elektrické zařízení o povaze práce, místě a důležitosti prováděné práce na elektrickém zařízení. Jedná-li se o složitou práci, musí podat informace písemně.

Povolání k provádění práce může dát pouze osoba odpovědná za elektrické zařízení. To musí být dodrženo i v případě přerušení a ukončení práce.

Pracovní postupy se dělí na tři různé postupy: práce bez napětí, práce pod napětím, práce v blízkosti živých částí. Všechny tyto postupy jsou založeny na používání ochranných opatření proti úrazu elektrickým proudem nebo účinkům zkratu a elektrického oblouku.

### **2.6.8 Měření**

Měření je v této normě definováno jako všechny činnosti, při kterých jsou měřeny fyzikální veličiny v elektrickém zařízení. Měření mohou provádět osoby znalé nebo osoby poučené, osoby seznámené mohou provádět měření pouze pod dozorem osoby znalé.

Při měření na elektrických zařízeních, musí být používány vhodné a bezpečné měřicí přístroje. Funkčnost přístrojů musí být zkontrolována před použitím, a pokud je to nutné i po něm.

Hrozí-li nebezpečí dotyku s živými částmi, musí mít osoba vykonávající měření osobní ochranné prostředky a pomůcky a dodržovat opatření na ochranu před zraněním elektrickým proudem, účinky zkratu a elektrického oblouku.

### **2.6.9 Zkoušení**

Zkoušení zahrnuje všechny činnosti určené k ověření elektrického či tepelného stavu elektrického zařízení. Zkoušení zahrnuje činnosti k prokázání spolehlivosti, například elektrických ochran a zabezpečovacích obvodů. Zkoušení může zahrnout měření. Zkoušení musí být vykonáváno osobami znalými nebo osobami poučenými pod dozorem osoby znalé.

[Česká technická norma, Obsluha a práce na ele. zařízení, český normalizační institut, 2005]



### 3 Přepočet oteplení pro jmenovité zatížení proudové dráhy

#### Oteplování proudového vodiče

Prochází-li úsekem dlouhého vodiče s odporem  $R$  ( $\Omega$ ) elektrický proud  $I$  (A), pak v každém časovém okamžiku na něm vznikají tepelné ztráty  $dQ = RI^2 dt$ . Toto teplo se dělí na dvě části. Jedna část se odvede ochlazováním ve stejné době do okolí. Je to množství  $\alpha_0 A dt$ . Veličinu  $\alpha_0$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) nazýváme součinitel přestupu tepla,  $A$  ( $m^2$ ) je ochlazovací povrch úseku,  $\Delta\theta$  (K) je okamžité oteplení tělesa proti okolí. Druhá část tepla v tělese zůstává a zvyšuje jeho teplotu o  $d\theta$ . Místo  $d(\Delta\theta)$  píšeme  $d\theta$ , protože první derivace oteplení podle času je stejná jako první derivace teploty podle času. Teplo k tomu spotřebované určuje vztah  $cV d\theta$ . Přitom  $c$  ( $J/m^3 \cdot K$ ) je objemová tepelná kapacita uvažovaného úseku vodiče s objemem  $V$  ( $m^3$ ). Platí tedy rovnice

$$RI^2 dt = \alpha_0 A \Delta\theta dt + cV d\theta \quad (3.1)$$

Rovnice řešíme separací proměnných

$$dt = \frac{cV}{RI^2 - \alpha_0 A \Delta\theta} d\theta \Rightarrow t = -\frac{cV}{\alpha_0 A} \ln \left[ \frac{RI^2}{cV} - \frac{\alpha_0 A \Delta\theta}{cV} \right] + K$$

Integrační konstantu  $K$  stanovíme s počáteční podmínkou: v okamžiku  $t = 0$  je také oteplení  $\Delta\theta = 0$

$$K = \frac{cV}{\alpha_0 A} \ln \frac{RI^2}{cV}$$

Výsledné řešení rovnice je (po úpravě)

$$t = -\frac{cV}{\alpha_0 A} \ln \left( 1 - \frac{\alpha_0 A}{RI^2} \Delta\theta \right)$$

Rovnice antilogaritmujeme a vyjádříme explicitně okamžité oteplení

$$\Delta\theta = \frac{RI^2}{\alpha_0 A} [1 - \exp(-\alpha_0 A t / cV)] = \Delta\theta_\infty [1 - \exp(-t / \tau)] \quad (3.2)$$

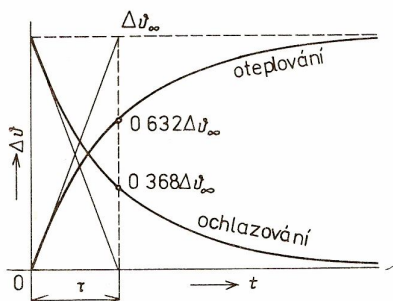
Přitom jsme zavedli označení

$$\Delta\theta_\infty = \frac{RI^2}{\alpha_0 A} \quad (3.3)$$

$$\tau = \frac{cV}{\alpha_0 A} \quad (3.4)$$

Křivka časového průběhu oteplení má exponenciální charakter. Z počáteční nulové hodnoty narůstá stále pomaleji, až za dobu  $t \rightarrow \infty$  se ustálí na hodnotě maximálního oteplení  $\Delta\theta_\infty$ . Časovou konstantu  $\tau$  (s) lze přitom definovat jako dobu, za kterou by těleso dosáhlo ustáleného oteplení  $\Delta\theta_\infty$ , kdyby se všechno volné teplo spotřebovalo jen na zvyšování jeho teploty, tj. kdyby bylo  $\alpha_0 = 0$ .

V grafickém záznamu rovnice (3.5) na obr. 4 vytíná velikost této tzv. časové konstanty  $\tau$  na pořadnici  $\Delta\vartheta_{\infty}$  tečna k oteplovací křivce v jejím počátku ( $t = 0$ ).



Obr. 4: Oteplovací a ochlazovací charakteristika

Z rovnice (3.2) také plyne, že za dobu  $t = \tau$  od začátku průchodu proudu  $I$  dosáhne vodič oteplení  $\Delta\vartheta_{\tau} = \Delta\vartheta_{\infty}(1 - e^{-1}) = 0,632\Delta\vartheta$ . Při odvozování rovnice (3.2) jsme poměry idealizovali a předpokládali, že časová konstanta se během oteplování nemění. To není úplně pravda, protože součinitel přestupu tepla  $\alpha_0$  je (mírně) závislý na oteplení  $\Delta\vartheta$  a během oteplování se mění. Měnit se může poněkud i měrná objemová tepelná kapacita  $c$ . Proto zpravidla měřená oteplovací křivka nesouhlasí zcela přesně s křivkou vypočítanou. Prochází-li stále stejný proud vodičem po velmi dlouhou dobu, těleso dosáhne teplotně ustáleného stavu. V ustáleném stavu je  $\Delta\vartheta/dt = 0$ ,  $\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_{\infty}$  takže rovnice (3,1) nabude tvaru

$$RI^2 = \alpha_0 A \vartheta_{\infty}$$

tedy tvaru totožného se vztahem (3.3). Dosažením tohoto nejvyššího možného oteplení povrchu  $\Delta\vartheta_{\infty}$  za daných podmínek nastává tepelná rovnováha: veškeré teplo vznikající ve vodiči se jeho povrchem předává do okolí (zpravidla do ovzduší) se zřetelem k bezpečnému a spolehlivému provozu zařízení, jehož součástí vodič je, nesmí toto oteplení přesáhnout určitou mezní velikost. Hlavním činitelem je v tomto případě teplotní odolnost použitých izolantů. Izolanty členíme z tohoto hlediska do sedmi tepelných tříd: Y, A, E, B, F, H, C. Dovolená trvalá teplota u tříd Y (papír, bavlna, hedvábí) je 90 °C u třídy A (papír, bavlna, hedvábí, impregnované pryskyřicemi nebo v oleji) je 105 °C, u dalších tříd postupně 120, 130, 155 a 180°C. Třída C (porcelán, slída, sklo) není teplotně omezena. Uvážíme-li, že maximální teplota okolí je normou omezena na 40°C, pohybuje se dovolené oteplení běžných izolovaných vodičů ( třídy Y,A) mezi 50 až 65 K. U vodičů holých nebo s izolanty teplotně odolnějšími je úměrně větší. Dovolená oteplení určitých částí proudových drah přístrojů jsou (podle materiálů

a provedení) normami stanovena individuálně.

Následkem těchto skutečností určují podmínky chlazení a materiál izolace velikost jmenovitého proudu daného zařízení. Proto jmenovitý proud definujeme jako proud, který může elektrickým zařízením trvale procházet, aniž oteplení kterékoli jeho části přestoupí dovolenou velikost.

Velikosti krajních dovolených teplot pro jednotlivé třídy izolantů byly stanoveny se zřetelem k hospodárné době života elektrických zařízení. Teplota vyvolává zejména v organických látkách

určité nevratné změny materiálových vlastností, především elektrické a mechanické pevnosti, a tím omezuje jejich život. Krajiní dovolené teploty odpovídají době života asi 10 let při nepřerušeném zatížení.

Měření, z nichž vyplynuly zmíněné poznatky, také prokázala, že život zařízení s izolanty se prodlouží na dvojnásobek (nebo ztratí polovinu), snížíme-li (nebo zvýšíme-li) trvalou teplotu zařízení o hodnotu tzv. polovinového teplotního činitele života. Ten činí pro izolanty třídy A asi 8K, pro izolanty třídy B asi 9K a pro izolanty třídy H asi 12K. Změnou provozní teploty elektrického zařízení, tj. změnou jmenovitého proudu, lze tedy přímo řídit dobu života zařízení.

[Havelka, O.:Elektrické přístroje, SNTL, Praha, 1985]

## 4 Měření v rozvodu elektrické energie

Při těchto měřeních je využívána především skutečnost, že svorka, nebo spoj, vykazují oteplení oproti připojenému vodiči a svědčí o nedokonalém elektrickém styku, nebo kontaktu. Využívání metody má v naší energetice typický racionalizační charakter, kdy při úspoře pracovních sil a snížených provozních nákladech lze kvalitněji a jednodušeji určovat slabá místa v rozvodu elektrické energie – možná budoucí příčiny poruch.

Metodiku měření lze přiblížit při stanovení těchto základních bodů, které je třeba při měření a vyhodnocení výsledků měření dodržet:

- A - atmosférické podmínky při měření a vzdálenost měření a vzdálenost měřeného prvku od termovizní kamery
- B – emisivita povrchu měřeného prvku
- C – zatížení v době měření
- D – vliv větru na naměřený údaj

### 4.1 Atmosférické podmínky při měření a vzdálenost měření a vzdálenost měřeného prvku od termovizní kamery

Je známým faktem, že při průchodu zářivé energie atmosférou dochází k jejímu útlumu, respektive zeslabení zářivého toku. Toto zeslabení může být způsobeno jednak přímou absorpcí, a jednak rozptylem na molekulách plynu, aerosolech, kapkách vody, pevných částic, atd. Na snižování transparence atmosférického prostředí se podílí zejména molekuly  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $O_3$ ,  $CH_4$  a  $CO$ , které vymezují ve spektrální závislosti koeficient absorpce atmosféry, takzvaná okna.

Při měření v laboratorních podmínkách i tam, kde jsou velikosti odporu malé, lze vliv atmosféry na signální radiační tok zanedbat. Při měření v prашných, vlhkých prostředí i tam, kde vzdálenost měřeného objektu není malá, je nutné s tímto faktorem počítat, respektive počítat s koeficientem zeslabení radiačního toku.

Přesné stanovení koeficientu zeslabení by ještě bylo velmi pracné, pro měření na venkovních rozvodnách lze doporučit tyto praktické poznatky: měření se mají provádět tehdy, pokud neprší, nepadá sníh a není mlha. V případě silně znečištěného prostředí (prach, kouřové plyny) je třeba počítat s tím, že naměřené údaje mohou být také zkresleny, jako v případě velké vlhkosti atmosféry a není-li možné počítat s eventuální změnou čistoty atmosféry, je potom nezbytně nutné provádět měření z co nejmenší vzdálenosti měřeného objektu od termovizní kamery.

### 4.2 Emisivita povrchu měřeného prvku

Každé těleso emituje do svého okolí zářivou energii, která je funkcí teploty a jeho látkových vlastností. Ze základních zákonů a veličin je možné určit vztah pro emisivitu  $\varepsilon$  jako pro takzvaný stupeň černosti zářiče.

### 4.3 Zatížení v době měření

Pro stanovení výsledné velikosti oteplení, například svorky oproti připojenému vodiči, je nutné uvažovat se zatížením při měření. V praktických měřeních je zatím průběh oteplení na zatížení uvažován jako jednoduchá funkce odporu a mocniny proudu.

Protože se ještě dále na naměřený údaj oteplení projevuje vliv větru a to velmi podstatně, byla pozornost zaměřena na řešení této problematiky s tím, že pro zatížení ( které je vždy vztaženo na jmenovité zařízení) bylo doporučeno neprovádět měření při momentálním zatížení menším, než je 50% zatížení jmenovitého. Tak je do jisté míry možno omezit chybu, která vzniká při přepočtech zatížení na jmenovité při nerespektování skutečností, jako je odvod tepla kondukcí i konvekcí.

### 4.4 Vliv větru na naměřený údaj

Při měření oteplení svorek na venkovních rozvodnách často vane různě silný vítr, který ochlazuje svorky i vodiče, a tím způsobuje různě velkou chybu v naměřené hodnotě oteplení svorky. Poněvadž při klasifikaci závady se oteplení svorky přepočítává na nejhorší podmínky, které mohou nastat, 100% zatížení a rychlost větru 0 m/s, je zapotřebí poměrně přesně znát závislosti, za kterých ochlazování probíhá.

### 4.5 Měření na elektrických přístrojích

Tato měření, která opět využívají skutečnosti, že při průchodu proudu daným prvkem nebo součástí dochází k jejich oteplení, ( jehož velikost je dále posuzována) lze účelně rozdělit na měření přístrojů s pohyblivým mechanismem a přístrojů statických.

První skupina s pohyblivým mechanismem je představována především vypínači, odpojovači, stykači, přepínači, přepojovači, rychlovypínači, kde dochází buď trvale nebo občas k pohybu, a tedy změně poměru na styčných částech a kontaktech.

Do druhé skupiny – přístrojů statických - je možno začlenit usměrňovače, měniče, rozvaděče, kabelová a přípojnicová vedení, spojky, spoje kontakty nožových pojistek.

[Svoboda, J.a kol.: Využití termovize v péči o základní prostředky, OT ČSVTS, Ústí n. L., 1983]

[Mečislav Hudeczek.: ABC Termovize. Elektrotechnika v praxi 1-2. 1992]

## 5 Termokamera Fluke Ti25

Termokamera Fluke Ti25 je dokonalým zařízením, které posílí arzenál prostředků na opravy a údržbu. Vzhledem k tomu, že byla zkonstruována pro použití v náročných provozních podmínkách, představuje tato výkonná, plně radiometrická kamera ideální prostředek pro vyhledávání problémů v elektroinstalacích, elektromechanických zařízeních, procesních zařízeních, vybavení HVAC a dalších.

- Lepší schopnost vyhledání problémů a možnosti analýzy pomocí IR-Fusion® technologie. Jednoduchým střídáním různých režimů zobrazení rychle identifikujete problémové oblasti pomocí plně infračerveného snímku nebo kombinace optického a infračerveného snímku v režimu automatického prolínání.

- Optimalizováno pro použití v náročných podmínkách provozu.- zkonstruováno a testováno na odolnost při pádu z výšky 2 m. Odolnost vůči prachu a vodě.

- testováno na stupeň krytí IP54. Inovativní ochranný kryt chrání objektiv kamery v době, kdy se nepoužívá. Při snímání obrazu je kryt bezpečně upevněn a nehrozí, že se dostane před objektiv.

- Použití při okolních teplotách již od -10 °C až +50 °C, model Ti25 měří až do 350 °C

- Jasné a ostré snímky, nutné pro rychlé vyhledání problémů.

- Identifikace i malých teplotních rozdílů, které mohou ukazovat na problémy pomocí vynikající teplotní citlivosti (NETD).

- Výkonný, nízko šumový snímač zajišťuje vysoce kvalitní snímky a stabilní měření teploty.

- Rozměrný širokoúhlý plno barevný VGA displej LCD perfektně zobrazuje i ty nejmenší detaily.

- Intuitivní, třítlačítkové menu se snadno používá – prochází se jím jednoduše stisknutím palce.

- Již není třeba nosit tužku a papír

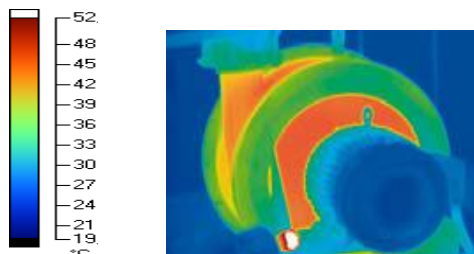
- poznámky se mohou namluvit přímo do kamery. Hlasovými poznámkami lze doplnit každý pořízený snímek. Ukládají se spolu s jednotlivými snímky pro budoucí referenci (pouze Ti25).

- Ukládání více než 3 000 snímků (formát BMP), které lze snadno využít v aplikaci Microsoft Word® a dalších programech nebo 1 200 snímků IR- Fusion, obsahujících termosnímek, optický snímek, údaje o teplotě a hlasové poznámky, vhodných pro tvorbu zpráv a analýz. Data jsou ukládána na 2GB paměťové kartě SD.

## 5.1 IR-Fusion - různé režimy zobrazení při měření elektrického čerpadla

### 5.1.1 Plně IR (tradiční) snímek

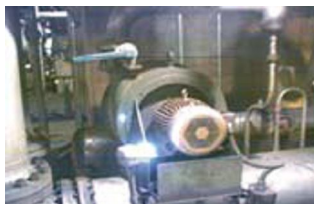
Na obr. 5 je zobrazený infračervený snímek na celé obrazovce pro maximální množství detailů. Podle barevného znázornění teplot můžeme rychle určit tu část, která je nejvíce tepelně namáhána. Zde můžeme vidět zahřívání oběžného kola čerpadla, které vzniká prouděním teplé vody.



Obr. 5. Plně IR (tradiční) snímek

### 5.1.2 Plně optický (viditelné světlo) snímek

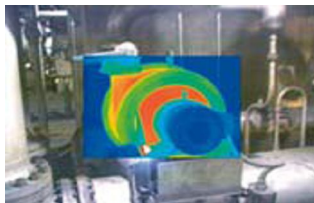
Digitální fotografický snímek elektrického čerpadla, jaký bychom získali pomocí digitálního fotoaparátu. Tento snímek lze jen zobrazit v softwaru.



Obr..6. Plně optický (viditelné světlo) snímek

### 5.1.3 Automatické prolínání

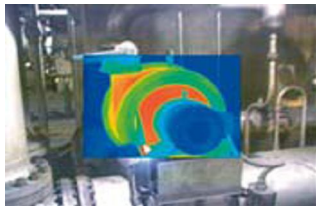
Kombinace optického (viditelné světlo) a infračerveného snímku tvoří jeden obraz, který je optimální pro prohlížení. Pomocí jednoduché nabídky lze nastavit různé parametry prolínání, od čistého termosnímku po výhradně optický snímek. Režim automatického prolínání poskytuje velkou citlivost zobrazení, která umožní přesně lokalizovat problém, plus vizuální rámeček, který pomůže při orientaci a zaostření snímku.



Obr..7 .Automatické prolínání

#### 5.1.4 Obraz v obraze

V tomto režimu je na obrazovce IR „okno“, obklopené optickým (viditelné světlo) rámcem, což umožňuje snadno identifikovat problémy a zároveň se pomocí tohoto rámce snadno ve snímku zorientovat.



Obr. 8. Obraz v obraze

#### 5.1.5 IR/Barevná signalizace

V tomto režimu jsou zobrazeny jen infračervené snímky míst s teplotami, které jsou nad, pod nebo mezi hodnotami nastavenými uživatelem. Ostatní místa jsou zobrazeny jako optický snímek (viditelné světlo). (Pouze v softwaru.)



Obr.9. IR/Barevná signalizace

[Technická dokumentace termovizní kamery Fluke Ti25]





Obr. 10. Termokamera Fluke Ti25

## 6 Závěr

V dnešní době je kladen velký důraz na bezporuchový stav elektrického zařízení ve výrobních linkách. Výpadek elektrické energie, a tím přerušení výroby vlivem poruchy, může výrobcí způsobit finanční ztráty, což je nežádoucí. Termovizní diagnostika je v dnešní době dokonalý prostředek s jakým lze předejít různým problémům při provozu elektrických zařízení. Vývoj v oblasti termodiagnostiky jde neustále dopředu a termokamery se neustále zlepšují.

Ve své práci popisují základní aplikace měření na elektrických zařízeních pomocí termokamery. Bezpečnost práce při měření na elektrických zařízeních, dále přepočet oteplení na zatížení proudové dráhy. V poslední kapitole je uveden stručný popis termokamery a různé režimy zobrazení při měření.

Součástí mé bakalářské práce bylo praktické měření na elektrických rozvodech nn v areálu Mora Aerospace, a.s. v Hlubočkách, kde firma Siemens používá termokameru pro vyhledávání závad a preventivní údržbu na elektrických zařízeních. Měření neodhalila žádné závažné problémy, ale jen pár drobných nedostatků, na které byl provozovatel elektroúdržby upozorněn a ty byly ještě ten den odstraněny. Protokol měření se nachází v příloze.

## **Literatura a jiné zdroje:**

- [1] Technická dokumentace termovizní kamery Fluke Ti25
- [2] Česká technická norma, Obsluha a práce na ele. zařízení, český normalizační institut, 2005
- [3] Havelka, O.: Elektrické přístroje, SNTL, Praha, 1985
- [4] Svoboda, J. a kol.: Využití termovize v péči o základní prostředky, OT ČSVTS, Ústí n. L., 1983
- [5] Mečislav Hudeczek.: ABC Termovize. Elektrotechnika v praxi 1-2. 1992
- [6] Slavní matematici vynálezci [online]. [cit.2009-04-22] Dostupné z: <http://www.vedci.wz.cz>